

DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS TÉRMICAS ESTRUCTURALES EN ESTUFAS DE TABACO TIPO BULK-CURING EN LA PROVINCIA DE SALTA.

F. Altobelli¹, M. Condori², G. Durán³, G. Díaz Russo
Instituto de Investigación en Energías no Convencionales (INENCO)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Universidad Nacional de Salta (UNSa)
Avda. Bolivia 5150, A4408FVY, Salta, Argentina.
Te: 54-387-4255424, Fax: 54-387-4255489, mail: fabi_altobelli@yahoo.com.ar

RESUMEN: Se presentan los resultados obtenidos al evaluar las pérdidas térmicas estructurales de una estufa de curado de tabaco de tipo bulk-curing, ubicada en la provincia de Salta. Este trabajo constituye una continuación de trabajos previos realizados en este tipo de dispositivos. Se dividieron en cuatro las superficies de análisis: techo, paredes, mampostería basal y suelo. En cada superficie se registraron los valores de temperatura durante una campaña de secado. Con los datos del monitoreo pudieron confirmarse y cuantificarse las pérdidas térmicas. Como puntos de especial interés se destacan el suelo y la mampostería, donde la carencia de aislación es la principal causa de las mencionadas pérdidas. Estas superficies representan, por lo tanto, los aspectos a mejorar para lograr un ahorro en el consumo de energía y una mejora en la eficiencia con la que se encuentran actualmente trabajando estas estufas.

Palabras clave: pérdidas térmicas, estufa de tabaco, secado de tabaco.

INTRODUCCIÓN

Mejorar la eficiencia del consumo de energía, implica una estrategia para enfrentar dos conflictos: lograr mayor seguridad energética y alcanzar metas ambientales (Haralambopoulos, et al 1998). A su vez, desde un punto de vista económico, uno de los puntos prioritarios ya mencionados por Goldemberg et al (1988), implica que, a los precios actuales de la energía, es usualmente más barato ahorrar una unidad energética que generarla.

En la actualidad existen numerosos trabajos relacionados con mejoras en la eficiencia de dispositivos industriales con miras a lograr recorte en los consumos energéticos. Estas mejoras deben partir de un conocimiento acabado del funcionamiento de los mismos y la detección de puntos susceptibles de ser optimizados con potencialidad para lograr cambios perceptibles y de elevado potencial de ahorro (United Nations, 2006).

Dentro de los implementos de secado de productos agrícolas, como las estufas de tabaco, la evaluación térmica es fundamental para definir ineficiencias en el consumo de energía. Las pérdidas estructurales pueden comprender una porción importante del combustible consumido para elevar la temperatura de la cámara y lograr el secado buscado del producto. Por otro lado, generalmente este tipo de desperdicios térmicos constituyen aspectos de solución relativamente sencilla y de bajo costo.

En trabajos previos fueron presentados los resultados de monitoreos de desempeño energético de estufas de curado en bulto de tabaco, destacándose la necesidad de verificar y cuantificar en detalle las pérdidas estructurales. Fueron definidos entonces tres puntos de interés: suelo, mampostería basal y, paredes y techo (Altobelli, et al, 2010a, 2010b, 2011).

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de evaluar las pérdidas estructurales de una estufa de tabaco tipo bulk-curing ubicada en la localidad de Rosario de Lerma, de la provincia de Salta. Aproximadamente el 85% de las estufas que son empleadas para el curado de tabaco en la zona de Valle de Lerma, corresponden a este diseño y se hallan construidas con el mismo tipo de materiales (Cornejo, Fiore, 2004). Si bien, en algunos casos se aprecian variaciones (principalmente en el tipo de ventilador para forzar el flujo), los valores aquí medidos pueden ser extrapolados al resto de secaderos de curado en bulto.

MATERIALES Y MÉTODOS

La estufa

La determinación de pérdidas térmicas, objeto del presente trabajo, fue realizada mediante el monitoreo de temperaturas internas y exteriores de una estufa de curado de tabaco tipo bulk-curing. En trabajos previos (Altobelli, et al, 2010a, 2010b, 2011), se hace mención a una primera aproximación hacia la definición de estas pérdidas y la necesidad de contar con mayor cantidad de datos, especialmente que permitan conocer los flujos térmicos en suelo, paredes y techo. El dispositivo monitoreado se encuentra construido con paredes y techo de chapa de aluminio ondulada, de doble estructura con aislación de lana de vidrio en su interior, la base perimetral se encuentra construida en mampostería, (construcción de ladrillos y cemento) de una altura de 1m; tanto el suelo como las paredes basales carecen de aislación. La cámara de secado posee dos "túneles", con un ancho total de 3 m (cada túnel posee 1.5m), un largo de 12m y una altura de aprox. 3.47m, la estructura de la misma está conformada por caños estructurales metálicos de 40mm x 20mm, revestidos en el interior y exterior por chapa ondulada. El piso, de tierra, posee una pendiente del orden del 1% hacia la puerta de carga.

¹ Becaria CONICET

² Director INENCO

³ Becario CONICET

La estufa evaluada en esta instancia, se diferencia del dispositivo monitoreado previamente (Altobelli, et al, 2010a, 2010b, 2011) en el tipo de ventilador que emplea, ya que posee uno de disposición axial y no turbina. Por otro lado, ésta última estufa pertenece al Centro de Estufado Comunitario de Rosario de Lerma; y los datos tomados se corresponden con la temporada productiva 2010-2011. En total, el proceso de secado monitoreado pertenece a las fechas 30/03/2011 – 05/04/2011.



Figura 1: Vista de frente de la estufa medida.

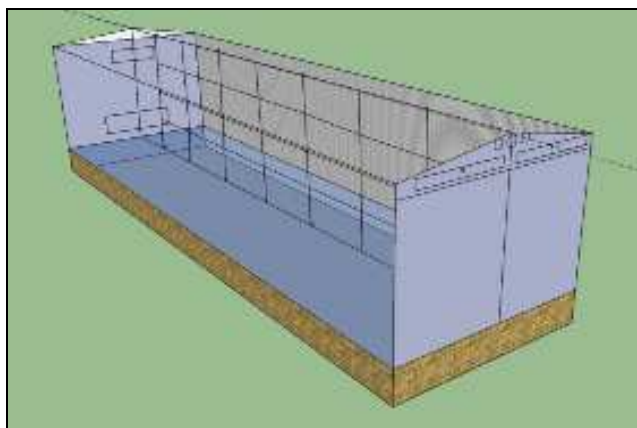


Figura 2: Esquema en tres dimensiones de la estufa, destacando los aspectos estructurales.

El sistema de medición

Dentro de las variables que fueron evaluadas se encuentran:

- Temperatura ambiente
- Temperatura de suelo, medida a 20 cm. de profundidad
- Temperatura en la mampostería basal oeste del secador (porción construida en ladrillo), tanto en la cara interna, como externa.
- Temperatura en la cara interna y externa de la pared oeste (porción construida en chapa galvanizada y con aislación en lana de vidrio).
- Temperatura de la cara interna y externa del techo de la cámara de secado.
- Velocidad de flujo en la salida del intercambiador
- Temperatura y humedad relativa del producto a secar, en tres niveles (alto, medio e inferior), en tres puntos (dos extremos y centro) a lo largo de la cámara de secado.
- Velocidad de viento.

Las medidas de temperatura de las distintas superficies (suelo, paredes y techo), fueron realizadas mediante la utilización de termocuplas tipo K, convenientemente calibradas mediante un bloque calibrador de aire Hart Scientific 9009. Los valores de velocidad de flujo de aire a la entrada de la estufa se tomaron mediante un anemómetro de hilo caliente TSI 8008, con medida unidireccional de flujo, rango de sensado de 0 a 50 m/s y con salida analógica continua en rango de 0 a 10 V.

Estas medidas fueron comandadas mediante un datalogger Campbell Sci. CR1000, de 8 canales diferenciales analógicos de 20 bits de resolución y 4 canales digitales, con almacenamiento de datos mediante una memoria de estado sólido de 4 Mb. Este adquiredor de datos fue programado para realizar la toma de señales con una frecuencia de muestreo de 5 minutos. En simultáneo, las medidas de temperatura y humedad relativa del tabaco a secar fueron adquiridas mediante nueve dataloggers Novus mod. Log Box DA IP 65, con una frecuencia de muestreo de 5 minutos. Estos adquiredores están provistos

con sensores de toma de temperatura y humedad mediante transistores, en un rango de adquisición de -10 a 80 °C y 0 a 80 % HR, y cuentan con capacidad de almacenamiento de señal en una memoria sólida, además de implementar en forma nativa el protocolo de transferencia de señal RS 485.

De esta forma, el conjunto de adquisidores utilizados fue conectado, mediante protocolo RS 485, a un Field Logger GSM Novus, el cual se utilizó para realizar el control remoto y la toma de datos de la estufa. Así, este equipo realiza una conexión remota de los adquisidores utilizados con un servidor de datos, mediante la red GSM de la empresa de telefonía celular Claro, permitiendo realizar un monitoreo en tiempo real de la estufa.

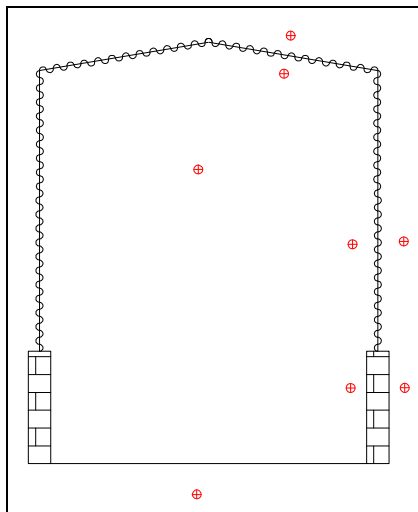


Figura 3: Esquema de ubicación de sensores para la detección de las pérdidas térmicas

Cálculos de flujos térmicos

Para el cálculo de los flujos térmicos se emplearon coeficientes conductivos tomados de Incropera (1999) y de Duffie and Beckman (1991), según los materiales constituyentes de las superficies analizadas. De esta manera, los valores utilizados son los que siguen a continuación

Tabla 1: Coeficientes empleados en los cálculos.

Material	Coeficientes conductivos
Doble chapa con aislación de lana de vidrio (techo y paredes)	$k = 0.038 \text{ W/K m}$
Ladrillo común (mampostería)	$k = 0.72 \text{ W/K m}$
Suelo arenoso húmedo	$k = 2 \text{ W/K m}$

Para las superficies constituidas en doble chapa con aislación interna, se optó por tomar como valor de conductividad térmica a aquel correspondiente al material de aislación: lana de vidrio. Para la mampostería se consideró adecuado el análisis desde el punto de vista de “ladrillo común”, por el hecho de encontrarse constituida por este material constructivo y carecer de revoque alguno. Finalmente el suelo desnudo de la estufa es considerado como una masa a secar, el mismo se humedece durante las primeras etapas de curado, y al concluir con el mismo, es rociado por los productores para incorporar humedad a las hojas ya secas y evitar su resquebrajamiento en la descarga.

En lo que respecta al intercambio de calor por convección, fue adoptado como valor para la relación entre el interior de la cámara de secado y las superficies de la envolvente el de 30 W/m^2 , para su equivalente externo (es decir las transferencias entre las superficies que delimitan al secadero y el ambiente) 14 W/m^2 , éste último valor surge del análisis de ráfagas de vientos registrados durante el monitoreo.

Dado que los flujos logrados mediante la aplicación de estos coeficientes corresponden inicialmente a valores de área unitaria, se obtuvieron los valores totales (en m^2) de cada superficie de interés.

Tabla 2: Área de las superficies estructurales de la estufa analizadas.

Superficie	Área (m^2)
Techo	36.48
Paredes	60
Mampostería basal	30
Suelo	36

RESULTADOS

Con la idea de aproximar una medición de la pérdida térmica que se genera hacia el suelo desnudo, fue medida la variación térmica del mismo a 20cm de profundidad, durante el secado. En la Figura 4 puede verse como línea de mayor valor a la correspondiente al centro de la estufa, seguida por la curva del suelo y finalmente, con menores valores y siguiendo la forma cíclica día-noche, los valores de temperatura ambiente. Los resultados demuestran que existe un flujo de calor hacia el suelo y que se pone de manifiesto ante la variación de la temperatura a la profundidad medida con el avance del secado y la elevación temperatura del interior de la estufa. Se puede corroborar la poca influencia de los valores térmicos ambiente en los valores edáficos.

Lo primero que sobresale con los valores del suelo, tomados a 20 cm de profundidad, es el acompañamiento a la curva perteneciente a la estufa, y su desvinculación con respecto a los valores ambientales. Esto marca claramente la presencia de un flujo térmico desde la cámara de secado al suelo. Como causa puede ser fácilmente definida la ausencia de cualquier tipo de aislación (Figura 4).

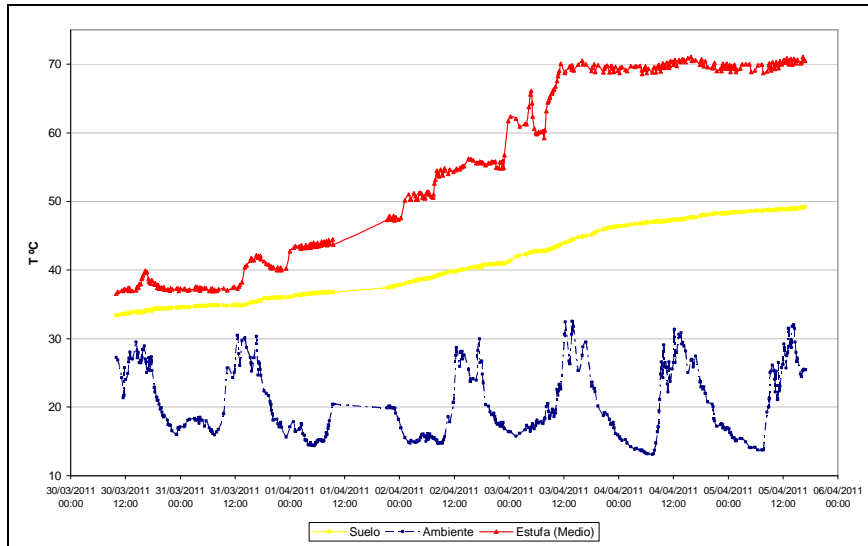


Figura 4: Temperaturas del interior de la estufa, a 15 cm de profundidad del suelo y ambiente (en orden decreciente de valores).

Por otro lado, con respecto a la mampostería basal se destaca el hecho de que si bien la temperatura de la mampostería exterior sigue los ciclos de los valores ambiente (día-noche), sus valores son mayores a los ambientales ante la existencia de un flujo conductivo de calor desde el interior de la estufa. Con respecto al registro de los picos, los mismos poseen un retraso en relación a los registrados para el ambiente, debido a la inercia térmica del material de composición de la pared (Figura 5).

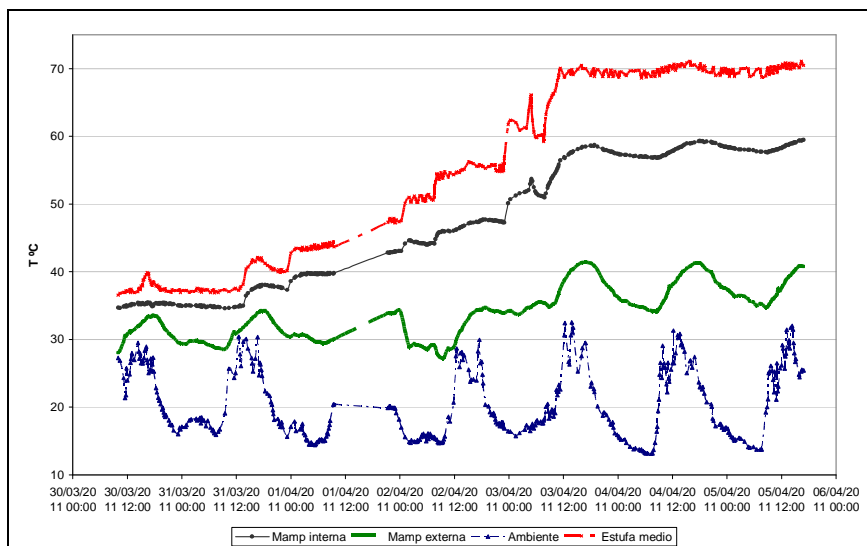


Figura 5: Temperaturas del interior de la estufa, de la cara interna de la mampostería, de la cara externa de la mampostería y ambiente (en orden decreciente de valores).

Similar a las situaciones descriptas para el suelo y mampostería de la estufa es el comportamiento térmico de las paredes y techo de la misma. Con las mediciones pudieron entonces corroborarse la existencia de pérdidas térmicas de tipo estructural,

aunque se evidencia por la distribución de temperaturas que en este caso las pérdidas son menores a las que se generan en las superficies analizadas previamente (Figura 6 y Figura 7).

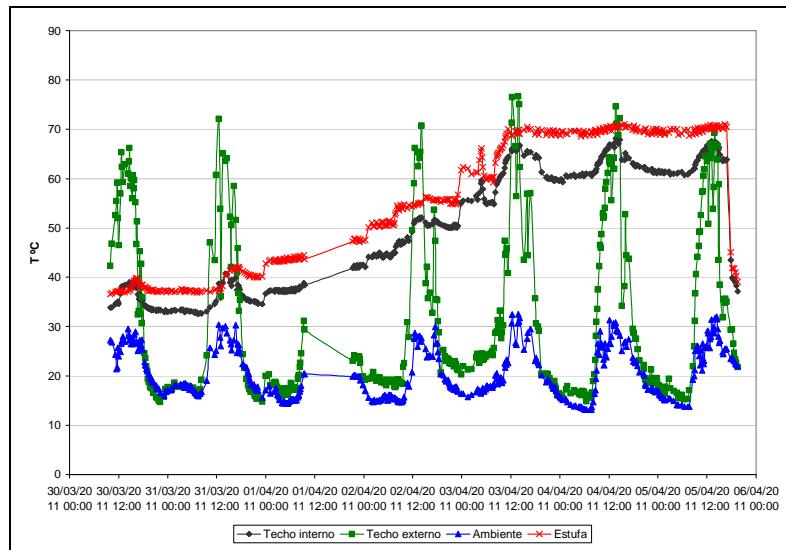


Figura 6: Temperaturas del interior de la estufa, de la superficie interna del techo, de correspondiente externo y del ambiente (en orden decreciente de valores)

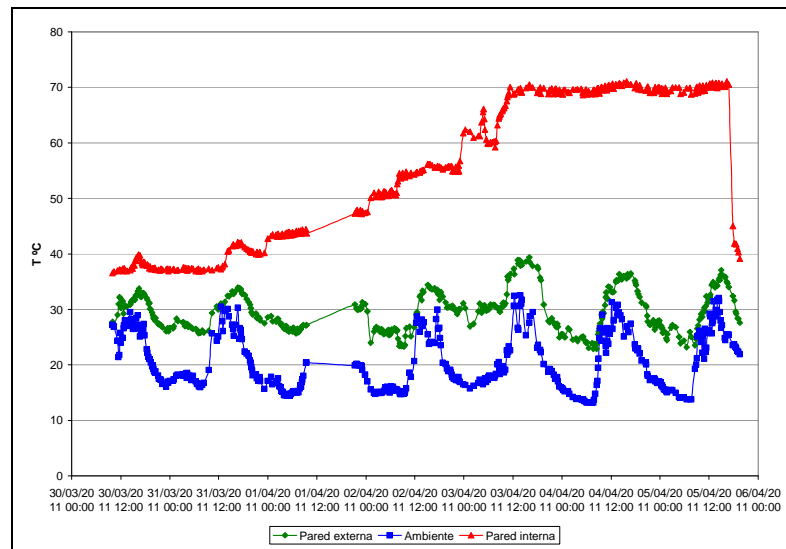


Figura 7: Temperaturas del interior de las caras internas y externas de la pared oeste y del ambiente (en orden decreciente de valores)

Cuantificación de los flujos

La cuantificación de flujos de calor fue realizada obteniendo los valores instantáneos (\dot{q}) para los flujos conductivos a través de las cuatro superficies analizadas: suelo, paredes, techo y mampostería. La Figura 8 muestra los flujos calculados en forma comparativa y en W, para la duración total del secado monitoreado.

Los flujos conductivos instantáneos para el suelo superan ampliamente a aquellos calculados para el resto de superficies. En orden decreciente sigue la mampostería, donde si bien puede considerarse similar al comportamiento de las paredes laterales, al evaluar la menor área de la misma (aproximadamente un 50% del área correspondiente a paredes), se aprecia su mayor significancia en la contabilización de las pérdidas. Finalmente la situación del techo de la estufa es particular y requiere un análisis individual ya que, además de existir un flujo desde el interior de la estufa al ambiente a través de esta superficie, al estar expuesta directamente al sol, se produce un sobrecalentamiento exterior, limitando y en algunos casos volviendo en ganancia los valores de flujo conductivo de pérdida calculados. Eso último refuerza la idea planteada de incorporar sistemas de colectores solares de aire al techo de las estufas como medidas para lograr un ahorro en el consumo de gas natural.

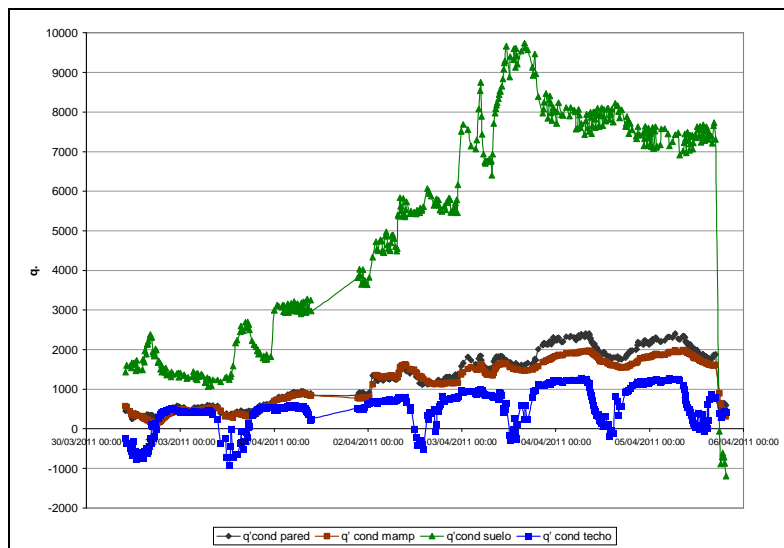


Figura 8: Flujos térmicos conductivos instantáneos calculados para cada superficie analizada.

CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados comprueban las hipótesis efectuadas en el monitoreo del año 2009-2010 sobre la existencia de pérdidas térmicas hacia al suelo y por la mampostería basal (Altobelli, et al, 2009, 2010). En los gráficos de temperaturas medidas en los distintos puntos, se destaca la influencia de los valores del interior de la estufa (correspondientes a cada etapa del curado), sobre aquellos registrados hacia el exterior de la misma.

Los resultados obtenidos permiten a su vez cuantificar las mencionadas pérdidas térmicas de tipo estructural en el funcionamiento de estufas de tabaco de tipo bulk-curing. En término global, estas pérdidas ascienden a cerca de 13000W, en el pico máximo medido en forma de flujo de calor instantáneo, destacándose por la influencia relativa en estos cálculos aquellos correspondientes al suelo y la mampostería basal.

Como primer y más importante recomendación, se define la incorporación de sistemas de aislación tanto en la mampostería, como en el suelo. Para este último caso, durante el proceso de secado del tabaco se produce el humedecimiento del mismo, tornándose en una nueva masa a ser deshidratada (elevando el correspondiente consumo de combustible). Para el caso de la estructura basal perimetral, los flujos térmicos medidos revelan a ésta superficie en segundo lugar de influencia en las pérdidas globales calculadas. También se propone el ensayo de un sistema de precalentamiento de aire constituido por colectores solares ubicados en los techos de estos dispositivos de secado.

Quedan aún por efectuarse mediciones del consumo real de gas de estos dispositivos, de manera de poder efectuar un balance de energía detallado y llegar a valores de eficiencia energética de la estufa. De esta forma, podría lograrse mayor especificidad en las medidas a adoptar para lograr un verdadero ahorro en el consumo energético.

REFERENCIAS

- Altobelli F.; Condorí M.; Díaz Russo G. (2010). Estudio del desempeño energético de una estufa de secado de tabaco. Salta, Argentina. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 14. ISSN 0329-5184.
- Altobelli F.; Condorí M.; Díaz Russo G. (2010). Evaluación energética de una estufa bulk-curing para secado de tabaco en Salta, Argentina". 2-13 IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII- SPES), Cusco, 1 -5.11.2010.
- Altobelli F.; Condorí M. (2011) Estudio del desempeño energético de estufas de tabaco tipo bulk-curing. Cuarto Congreso Nacional – Tercer Congreso Iberoamericano, Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía – HYFUSEN 2011. pp. 14.09. Mar del Plata, Argentina.
- Cornejo M. y Fiore I. (2004). El cultivo de tabaco en el Valle de Lerma – Salta. Hoja informativa N° 22. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Unidad de Extensión y Experimentación Adaptativa (UEEA) Valle de Lerma.
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª edition. Wiley Interscience, New York.
- Goldemberg J., Johansson T., Reddy A. and Williams R. (1988) Energy for a Sustainable World. Wiley, New York.
- Haralambopoulos D. y Paparsenos G. (1998) Assessing the thermal insulation of old buildings – the need for in situ spot measurements of thermal resistance and planar infrared thermography. Energy conversion and management 39, 2, 65-79.

Incropera F. y DeWitt D. (1999). Fundamentos de transferencia de calor, 4ª edición. Prentice Hall. México.

United Nations (2006). Energy for all. United Nations Commission on Sustainable Development, Sustainable Development in action. Background May 2006.

ABSTRACT

The results obtained from the assessment of structural thermal losses of a tobacco bulk-curing type barn, are presented. This paper is a resume of previous studies done with these drying devices. Four surfaces of interest were defined: floor, masonry basement, walls and roof. Temperature values were recorded for each surface during a drying season. With these monitored data it could be confirmed and quantified the thermal losses of the barn. As points of special interest it comes up the floor and the basement masonry where the lack of insulation can be considered as the main cause of the aforementioned losses. These surfaces in turn represent areas for improvement to achieve savings in energy consumption and an improvement in the efficiency of these tobacco barns.

Keywords: thermal losses, tobacco barn and tobacco drying.